



ENERGIAPAALU PIENTALON ENERGIANKERÄÄJÄNÄ

Eero Lehikoinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

LEHIKONEN, EERO:
Energiapaalu pientalon energiankerääjänä

Opinnäytetyö 24 sivua
Huhtikuu 2014

Tämän opinnäytetyön aihe muotoutui yhteistyössä Uponorin kanssa. Uponor oli mukana projektissa, jossa pientaloon suunniteltiin energiapaalut. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua energiapaaluihin ja niiden toimintaan. Tavoitteena oli selvittää laskemalla, kuinka paljon energiapaaluilla voidaan kerätä energiaa maasta pientalon lämmitykseen ja riittääkö se päälämmitystavaksi. Lisäksi tavoitteena oli laskea energiapaalujen investointikustannuksia pientaloissa ja vertailla niitä muihin maalämmönkeruujärjestelmiin. Ongelmana työssä oli tiedonsaannin vaikeus, sillä samanlaista järjestelmää ei tiettävästi ole Suomessa vielä pientaloihin tehty.

Energiapaalu kattaa sopivissa olosuhteissa omakotitalon lämmitysenergiantarpeen, ja näin ollen ratkaisu on energiatehokas, koska siinä hyödynnetään ilmaista maalämpöä. Investointikustannuksia tarkasteltaessa energiapaalu ei vielä ole kustannustehokas, sillä se on kalliimpi kuin muut työssä vertailtavana olevat järjestelmät ja riskialttiita kohtia on olemassa useita.

Energiapaalu pientalossa ei vielä ole kannattava ratkaisu, sillä se on rakenteeltaan riskialtis ja investointikustannuksiltaan kalliimpi kuin muut maalämpöjärjestelmät. Toiminnaltaan se kuitenkin on hyvä ratkaisu, sillä siinä hyödynnetään rakennuksen rakenteita energian keräämiseen. Tuotekehitystä täytyy vielä jatkaa, jotta järjestelmä saataisiin kustannustehokkaaksi. Nykyinen järjestelmä on koottu eri käyttötarkoitusten laitteista, ja siksi se ei ole vielä valmis kilpailemaan muiden maalämmönkeruujärjestelmien kanssa.

Asiasanat: energiapaalu, maalämpö, lämmitysenergia, energiatehokkuus

ABSTRACT

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Option of HVAC Services

LEHIKONEN, EERO:

An Energy pile as an Energy Producer in a Single-family House

Bachelor's thesis 24 pages, appendices 0 pages
April 2014

Saving energy is nowadays commonplace in new construction and renovation. Geothermal heating is an excellent solution for the heating system of a single-family house, since the energy is collected from the ground, and is, therefore, renewable energy. Energy piles are an ideal combination to utilize the infrastructure and energy supply, as the piles collect the energy that the house needs to stay warm.

This thesis studied, with the help of various calculations, the energy supply of the pile from the ground, and its structure and operations, as well as compared its investment costs to those of other geothermal systems.

With energy piles, heating and cooling energy can be collected from the ground. In suitable circumstances, the piles can collect the heating fuel needed in a private home, which makes it an energy-efficient solution. In summer, when the heat from indoors is conducted into the ground, energy is loaded for the winter. The system works in the same way as any geothermal power collection circuits, such as thermal wells and horizontal collector pipes.

Key words: energy pile, ground heat, heating energy, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ENERGIAPAALUN KÄYTTÖ PIENTALOISSA.....	6
2.1	Energiapaalun rakenne.....	7
2.2	Energiapaalun toiminta	8
2.3	Energiapaalun hyödyntäminen	8
2.4	Lämmitysenergia	9
2.5	Viilennysenergia	9
3	LÄMMÖNSIIRTYMINEN.....	10
3.1	Johtuminen.....	10
3.2	Konvektio.....	11
4	SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	13
4.1	Suunnittelu	13
4.2	Toteutus	14
5	TEOREETTINEN ENERGIANSAANTI SUOMESSA.....	15
5.1	Vertailu maalämmön keruutapojen välillä.....	15
5.2	Kustannusvertailu	19
5.3	Kustannusten tarkastelu	21
6	ENERGIAPAALUN MAHDOLLISET HAITAT	22
7	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET.....	24

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on tutkia kuinka paljon energiapaaluilla voidaan kerätä energiaa maasta pientalon lämmitykseen, tarkastella energiapaalujen toimintaa, rakennetta, sekä laskea niiden investointikustannuksia pientaloissa ja vertailla niitä muihin maalämpöke-ruujärjestelmiin. Myös energiapaalujen suunnitteluun ja toteutukseen on otettu erilaisia näkökohtia ja huomioita.

Idea työhön syntyi yhdessä Uponorin kanssa. Ensimmäinen Uponorin pientaloenergiapaalukohde tehtiin Jyväskylään uudelle asuntomessualueelle. Tässä työssä esiintyvät näkökulmat ovat kokemusperäisiä yhden kohteen kokemuksella. Kun kyseessä on pilot-tihanke, on järjestelmässä vielä parannettavaa, ja parannusehdotukset ovat osa tätä opinnäytetyötä. Todellista energiansaantia ei siis ole voitu vielä mitata, ja kustannusar-viot ovat viitteellisiä.

Energiapaalut pientalojen perustuksissa ovat uusi tuote, eikä näin ollen järjestelmästä ole pitkäaikaista kokemusta. Tässä työssä esiintyvät energiamäärät ovat laskennallisia, joten ne voivat poiketa todellisista määristä maaperän käyttäytymisen mukaan. Lähtö-kohtana työlle oli tutustuminen energiapaalun suunnitteluun ja asennukseen, sekä ener-giamäärien tutkiminen laskelmien avulla.

Laskelmissa käytetyt energiat ovat pelkästään rakennuksen lämmitysenergiaa, joista käyttöveden lämmitys on jätetty kokonaan pois. Myöskään lämpöhäviöitä ei ole millään lailla huomioitu työssä, eikä mitoittavia lämpötiloja, pelkästään vuotuisia energiamää-riä.

2 ENERGIAPAALUN KÄYTTÖ PIENTALOISSA

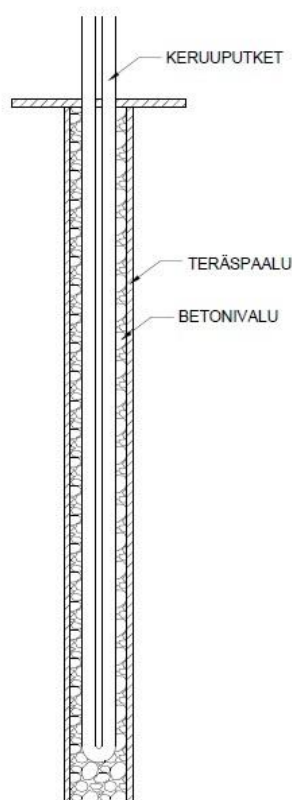
Paalutus on pientaloissa sekä suuremmissa rakennuksissa käytetty perustamistyyli. Paalutusta käytetään yleensä pehmeän maaperän päälle rakennettavassa rakennuksessa. Paalut joutetaan tai porataan pehmeän maa-aineksen läpi kovaan perusmaahan, ja näin ollen rakennus saa tukevan ja kovan alustan eikä se lähde vajoamaan, vaan pysyy ryhdissään. Seuraavassa kuvassa (KUVA1) on esitettyä energiapaalun periaatekuva.



KUVA 1. Energiapaalun periaatekuva (<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infrastruktuuriratkaisut/Teraspaalut/eRR--ja-eRD--energiapaalut>)

2.1 Energiapaalun rakenne

Energiapaalu on yleensä teräsputki jonka, sisällä kulkee muovinen lämmönkeruuputki lämmönkeruunesteelle. Paalu valetaan täyteen betonia, jolloin se vahvistuu ja samalla lämmön siirtyminen tehostuu maaperästä lämmönkeruunesteeseen. Paalu on halkaisijaltaan noin 10cm, jonka toinen pää on tukittu. Yläpäässä, joka jää avoimeksi maan pinnalle, on poikittainen lattarauta, joka jakaa rakennuksen painoa tasaisemmin sokkeliin. Lattaraudassa on keskellä reikä, joka on läpimitaltaan samankokoinen kuin paalun sisähalkaisija, josta johdetaan sujutusputki rakennuksen sokkelin läpi. Tästä putkesta saadaan sujutettua lämmönkeruuputket paalun sisälle ja samalla valettua paalu täyteen betonia. Paalut voivat olla 2-putkikeräimiä, tai 4-putkikeräimiä. 2-putkikeräimessä lämmönkeruuputki tekee vain yhden lenkin keräimen sisällä, kun taas 4-putkikeräimessä keruuputki tekee kaksi lenkkiä, jolloin teho on laskennallisesti noin puolitoista kertaa suurempi (UPONOR), kuin 2-putkikeräimessä. Seuraavassa kuvassa (KUVA 2) on esitetty energiapaalun pystyleikkauskuva.



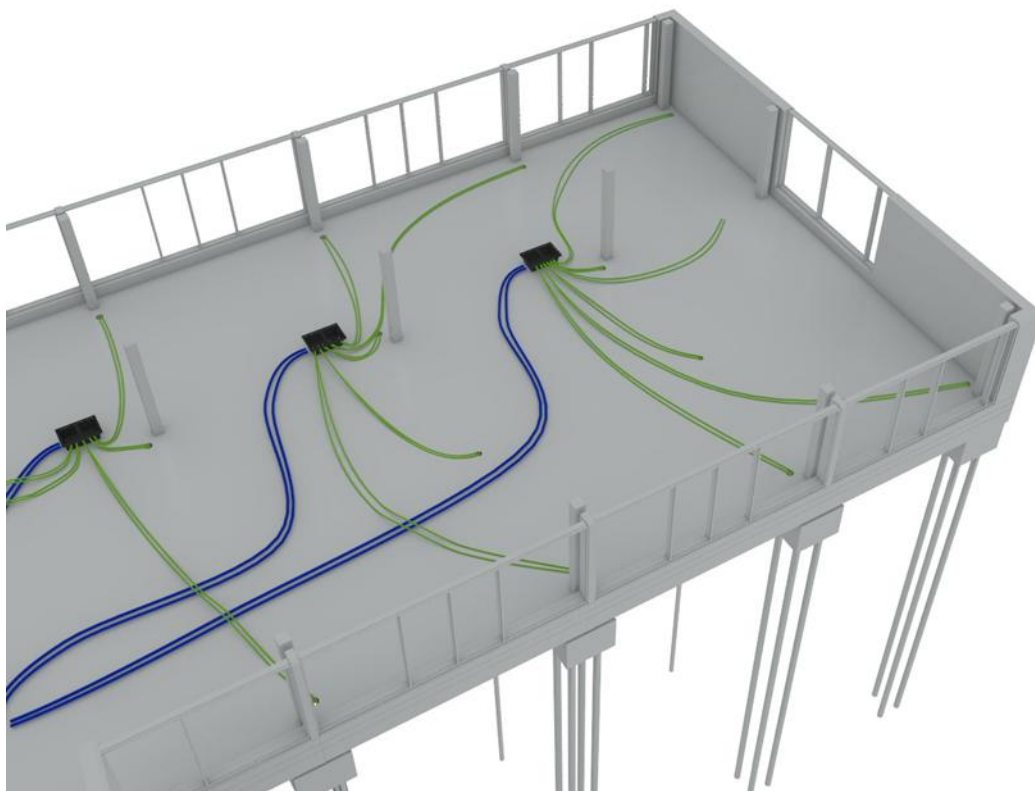
KUVA 2. Energiapaalun pystyleikkaus

2.2 Energiapaalun toiminta

Energiapaalun perustoiminta on samanlainen kuin maalämpökaivossa tai maalämmön vaakakeruuputkissa. Erona on, että lämpö kerätään rakennuksen alta ja hyödynnetään rakenteita. Näin ollen kaivon poraaminen tai vaakakeruuputkistojen asentaminen jää pois. Lämpöä kerätään maasta energiapaalulla (KUVA2), jonka sisällä kulkee happidifфуsiosuojattua muoviputkea. Muoviputkessa virtaa jäätymätöntä lämmönkeruunestettä. Energiapaalut on yhdistetty toisiinsa jakotukeilla, jotka voidaan sijoittaa rakennuksen alle hiekkaan, hyväksytyillä liitoksilla. Jakotukeilta neste kerätään kokoojaputkilla lämpöpumpulle, jonka avulla maasta saatu lämpöenergia siirretään energiavaraajaan.

2.3 Energiapaalun hyödyntäminen

Energiapaalua voi hyödyntää eri käyttötarkoitukseen pientaloissa. Paaluilla saadaan kerättyä talvella lämpöä maaperästä, ja kesällä taas maalämpöpumpun avulla varastoitua energiaa talon alle maaperään, saaden samalla viilennykseen tarvittavaa viilennysenergiaa. Seuraavassa kuvassa (KUVA 3) on esitetty järjestelmän sijoittuminen rakennukseen. Mustat laatikot esittävät jakotukkeja, vihreät putket keruuputkistoa ja siniset putket kokoojaputkistoa jakotukeilta lämpöpumpulle.



KUVA 3. Järjestelmän sijoittuminen rakennukseen. (Uponor Suomi Oy)

2.4 Lämmitysenergia

Maasta saadaan kerättyä energiaa, tunnetummin maalämpöä. Maalämpö on maaperään tai veteen varastoitunutta energiaa. Maan pintakerroksen, noin 15m syvyyteen asti, lämpöenergia on peräisin auringosta (Ketonen 2012). Aurinko paistaa kesällä lämmittäen maaperää, ja näin ollen lämpöenergia varastoituu maan eri rakenneseisiin.

2.5 Viilennysenergia

Kesällä energiapaaluja voidaan hyödyntää huonetilojen viilennykseen. Paalujen avulla saadaan siirrettyä lattiaviilennyksestä kertynyttä lämpöenergiaa talon alle maaperään, joka voidaan varastoida sinne kesän ajan. Näin maaperä toimii energiavarastona, ja sitä kautta saadaan maakylmää siirrettyä lattialämmitysputkiston avulla huonetiloihin. Viilennystä voidaan hyödyntää myös ilman lämpöpumppua, jolloin järjestelmään on asennettava yksi lämmönsiirrin lisää. Lämmönsiirrin asennetaan lämmönkeruupiiriin ja lattialämmitysputkien väliin, jolloin kesäaikaan lattialämmitysputkissa kulkeva vesi kierätetään siirtimen kautta. Tällöin sisätiloista siirtyy lämpöenergiaa siirtimen välityksellä maahan, eikä lämpöpumppua tarvitse käyttää viilennykseen. Järjestelmän automaatio huomioi viilennyksen lämpötilat ja huonetilan kosteuden, jonka avulla se estää kosteuden tiivistymisen rakenteisiin.

3 LÄMMÖNSIIRTYMINEN

Lämpö voi siirtyä aineesta toiseen kolmella tavalla, johtumalla, säteilyllä sekä konvektiolla. Energiapaaluissa Lämpöenergia siirtyy maasta johtumalla (KAAVA 1), sekä konvektiolla (KAAVA 2)(Seppänen 2001).

3.1 Johtuminen

Johtuminen tapahtuu kiinteässä aineessa molekyylin liike-energian siirtymisenä molekyylistä toiseen. Termodynamiikan toisen lain mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan (KAAVA 1). Energiapaalussa johtumalla siirtyvä lämpöenergia siirtyy maaperästä ensin teräspaalun, ja tämän jälkeen betonivalun läpi lämmönkeruuputkistoon. Lämpövirta riippuu maan, sekä lämmönkeruunesteen lämpötilaeroista.

$$\text{KAAVA} \quad \quad \quad = -\lambda A \frac{dT}{dx}, \quad (1)$$

jossa

ϕ = lämpövirta [W/K]

λ = lämmönjohtavuus [W/mK]

A = pinta-ala [m²]

T = lämpötila [K]

x = matka lämpövirran suunnassa [m].

Eri aineilla on eri lämmönjohtavuus. Metallit, kuten kupari ja alumiini ovat hyviä johtamaan lämpöä, kun taas ilma ja vety ovat huonoja johtamaan lämpöä, eli ovat hyviä eristeitä. Myös tämän takia teräspaalu valetaan täyteen betonია, jolloin lämmön siirtyminen saadaan tehokkaammaksi.

3.2 Konvektio

Konvektiossa lämpö siirtyy kulkeutumalla kaasun tai nesteen mukana (KAAVA 2). Kun kaasu ja kiinteän aineen pinta on eri lämpötilassa, lämpö siirtyy näiden välillä konvektion avulla. Konvektioita on erilaisia, on vapaa- ja pakotettu konvektio. Vapaassa konvektiossa lämpövirta aiheutuu vain lämpötilaeroista, kun taas pakotetussa konvektiossa virtauksen aiheuttaa jokin muu tilanne, esim. kiertovesipumppu. Energiapaalussa lämpöenergia siirtyy pakotetun konvektion avulla paalusta lämpöpumpulle lämmönke-ruunesteen avulla. Kiertovesipumppu kierrättää nestettä paalujen ja lämpöpumpun välillä.

$$\text{KAAVA} \quad \phi = \alpha A(T_1 - T_2), \quad (2)$$

jossa

ϕ = lämpövirta [W/K]

α = lämmönsiirtymiskerroin

A = pinta-ala [m²]

T_1 = pinnan lämpötila [K]

T_2 = vapaan aineen lämpötila [K].

Lämmönsiirtymiskerroin α ilmaistuna lämmönsiirtymisilmiötä kuvaavien dimensiottomien lukujen avulla (KAAVA 3).

KAAVA
$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}, \quad (3)$$

jossa

Nu = Nusseltin luku

α = lämmönsiirtymiskerroin [W/ m²K]

L = karakteristinen mitta [m]

λ = virtaavan aineen lämmönjohtavuus [W/mK].

4 SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Lämmönkeruujärjestelmän tyyppiä mietittäessä täytyy ottaa huomioon monenlaisia asioita. Hankintahinta, käyttökustannukset, takaisinmaksuaika ja ennen kaikkea järjestelmän toimivuus kyseisessä kohteessa vaikuttavat merkittävästi siihen, mihin ratkaisuun päädytään. Jos kyseessä on suoperäistä maata, tai muuten pehmeää ja vaikeasti perustettavaa maaperää, on talon perustamisratkaisuna paalutus. Tällöin tulee mahdolliseksi asentaa peruspaalujen sijaan energiapaalut. (www.ruukki.fi)

4.1 Suunnittelu

Energiapaalun suunnittelussa on monta vaihetta. Kohteen sijainti ja maaperän maa-aines vaikuttavat energian saantiin maaperästä. Tämä asia täytyy erityisesti ottaa huomioon paalujen mitoituksessa. Geosuunnittelijat käyvät kohteen tontilla tutkimassa maaperää, ja mitoittavat paalujen pituudet sopiviksi. Rakennesuunnittelijalta saadaan tieto rakennuksen lämpöhäviöistä, jonka jälkeen voidaan laskea kohteen lämmitystehontarve. Kun tiedetään lämmitystehontarve ja talon paalujen pituudet, saadaan selville kuinka moneen paaluun täytyy asentaa lämmönkeruuputkisto. (www.ruukki.fi.) Kun paalut ovat mitoitettu, tulee miettiä mistä paaluista kootaan keruuneste millekin jakotukille. Erityisen tärkeää mitoituksessa on, että putkipiirit ovat samanmittaiset jokaisessa paalussa jakotukilta eteenpäin. Näin ollen erillisiä säätöventtiileitä ei tarvita, vaan painehäviö kaikissa keruupiireissä on sama, joten neste kiertää tasaisesti jokaisessa paalussa. Normaalille pientalolle energiapaalujen määrä kulkee luokassa 15-25 paalua, eli 25-50% kokonaispaalumäärästä. Määrä riippuu tehollisesta paalupituudesta ja teräspaalujen määrästä, joidenka avulla saadaan mitoitettua oikea määrä paaluja. (TAULUKKO 2.) Jos keruupiirejä on paljon, ja jakotukit kaukana toisistaan, voidaan jakotukit yhdistää vielä yhdeksi kokoojatukiksi, jonka kautta keruuneste kulkee lämpöpumpulle.

4.2 Toteutus

Paalut juntataan tai porataan työmaalla maahan rakennuksen alkuvaiheessa. Kun paalut on saatu maahan, aletaan taloa rakentaa paalujen varaan. Teräspaalun päähän asennetaan sujutusputki, joka kulkee sokkelin läpi (KUVA 4). Putken pää tulee tulpata, ettei paalun sisään tässä vaiheessa mene betonivalua sokkelia valettaessa, eikä myöhemmin vettä, sillä keruuputkisto on hankala sujuttaa paalun sisään veden nostevoiman takia. Kun sokkeli on valettu, paalujen sisään sujutetaan keruuputkistot, jotka on hyvä ankkuroida sokkeliin, ettei betonivalu nosta putkia ylös paalusta. Kun putkistot on asennettu ja liitokset tehty asiallisesti, tehdään paine- ja tiiveyskoe. Putkistoon ajetaan paineilmaa, ja tarkkaillaan paineen muutosta. Paine luultavasti alenee aluksi ilman jäähtymisen ja kosteuden takia, mutta tasaantuu tiettyyn painetasoon jos putkisto ja liitokset ovat pitäviä. Kun painekoe on suoritettu, ja alapohjassa kulkevat siirtoputkistot ja jakotukit ovat eristetty, voidaan tehdä maatayttö ja betonivalu. (Energiapaaluesite 2011)



KUVA 4. Keruuputkien läpivienti sokkelin läpi.

5 TEOREETTINEN ENERGIANSAANTI SUOMESSA

Suomessa energiansaanti maaperästä riippuu kohteen sijainnista pohjois-eteläsuunnassa. Mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä vähemmän maaperässä on varastoitunutta lämpöä talvella. Myöskään kesäajan viilennys ei ole luonnollisesti pohjoisessa välttämättä tarpeen. Seuraavissa kappaleissa on esitetty teoreettiset energiansaantomäärät talviaikaan eri korkeuksilla Suomessa. Taulukossa 1 on esitetty laskennalliset tehomäärät (kWh/m) eri maalajeille (savi ja hiekka). Taulukossa suomi on jaettu kolmeen lohkokseen, Etelä-Suomi (linja Kokkola-Savonlinna eteläpuoli), Keski-Suomi (linja Kokkola-Savonlinna pohjoispuoli Oulun korkeudelle) sekä Pohjois-Suomi (Oulusta ylöspäin).

Laskennassa käytetyt arvot ovat etsitty lähteistä ja kaikki arvot ovat viitteellisiä, Työhön ei kuulunut omia mittauksia.

Sijainti	Savi	Hiekka	Linja
Etelä-Suomi	50...60	30...40	¹ Kokkola - Savonlinna eteläpuoli
Keski-Suomi	40...45	15...20	¹ Kokkola - Savonlinna Oulu
Pohjois-Suomi	30...35	00...10	² Pohjois-Suomi Oulusta ylöspäin

TAULUKKO 1. Laskennalliset arvot lämmitysenergian hyödyntämiseen vuodessa (kWh/keräinmetri/a) UPONOR

5.1 Vertailu maalämmön keruutapojen välillä

Maalämpöä voidaan kerätä muillakin menetelmillä, kuin energiapaaluilla. Seuraavaksi on esitetty taulukoittain kolmen keruutavan energiansaannit erilaisilla olosuhteilla. Ensimmäisenä (TAULUKKO 2) on esitetty energiapaalun kokonaisenergiansaanti vuodessa erilaisilla järjestelmäkooilla. Laskelmissa on hyödynnetty Taulukon 1 arvoja.

ENERGIAPAALUT				
kWh/m vuodessa	Paalun pituus (m)	Määrä (kpl)	Tehollinen kokonais- pituus (m)	Kokonais- energia kWh/a
20	10	20	200	4000
30	10	20	200	6000
40	10	20	200	8000
50	10	20	200	10000
20	15	20	300	6000
30	15	20	300	9000
40	15	20	300	12000
50	15	20	300	15000
20	20	20	400	8000
30	20	20	400	12000
40	20	20	400	16000
50	20	20	400	20000

TAULUKKO 2. Energiapaalun kokonaisenergiansaanti vuodessa.

Taulukosta voidaan nopeasti ja helposti lukea energiamäärät eri paalupituuksille erilaisessa maaperässä, tai maantieteellisesti eri paikassa. Vasemmassa sarakkeessa on esitetty energiamäärät vuodessa paalumetriä kohden, seuraavana paalun pituus, sitten energiapaalujen määrä (4.1), tämän jälkeen tehollinen kokonaispituus, eli se pituus, jolta matkalta voidaan energiaa kerätä maaperästä, ja lopuksi kokonaisenergia vuodessa.

Kuten taulukosta huomataan, Etelä- ja Keski-Suomessa päästään lyhyilläkin paaluilla hyvälle energiamäärälle ja hieman pidemmillä paaluilla voidaan kattaa kannattavasti jopa koko rakennuksen lämmitysenergiankulutus, jos maaperä on suotuisaa.

Seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 3) vaakakeruuputkiston vastaavat energialaskelmat. Laskelmat perustuvat Taulukon 1 energiamääriin vuodessa putkimetriä kohden. Energiamäärät ovat pintamaassa samalla tasolla kuin energiapaalujen syvyydessä, joten saman taulukon käyttäminen on mahdollista (Pitkäranta. J, 2009).

VAAKAKERUUPUTKISTO		
kWh/m vuodessa	Putki- pituus (m)	Kokonais- energia kWh/a
20	100	2000
30	100	3000
40	100	4000
50	100	5000
20	200	4000
30	200	6000
40	200	8000
50	200	10000
20	300	6000
30	300	9000
40	300	12000
50	300	15000
20	400	8000
30	400	12000
40	400	16000
50	400	20000

TAULUKKO 3. Vaakakeruuputkiston kokonaisenergiansaanti vuodessa.

Myös tästä taulukosta nähdään pääpiirteiset energiamäärät eri pituisille keruupiireille. Putkipituus vastaa tässä taulukossa edellisen taulukon (TAULUKKO 2) tehollista pituutta. Vaakakeruupiiri ei ole niin sidonnainen putken maksimipituuteen kuin energiapaalu. Energiapaaluja on talossa vain tietty määrä, eikä niiden pituuteen voi vaikuttaa, kun taas vaakaputkisto voidaan tehdä melko paljon halutun pituiseksi.

Lämpökaivon energiamäärä, 100 kWh/m, (Kemppainen J, 2009) on pintamaan energiamäärää 30-50 kWh/m (TAULUKKO 1) suurempi. Seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 4) on esitetty lämpökaivon energiamääriä eri syvyyksille kaivoille. Taulukossa käytetty energia-arvo 100 kWh/m on opinnäytetyössään Joni Kemppaisen käyttämä (Kemppainen. J, 2009).

LÄMPÖKAIVO				
kWh/m vuodessa	Kaivon syvyys (m)	Kaivojen määrä (kpl)	Tehollinen kokonais- pituus (m)	Kokonais- energia kWh/a
100	120	1	120	12000
100	140	1	140	14000
100	160	1	160	16000
100	180	1	180	18000
100	200	1	200	20000
100	120	2	240	24000
100	140	2	280	28000
100	160	2	320	32000
100	180	2	360	36000
100	200	2	400	40000

TAULUKKO 4. lämpökaivon kokonaisenergiansaanti vuodessa.

Taulukkoja vertailemalla voidaan todeta että ei ole suurtakaan merkitystä miten energiaa kerätään maasta. Nämä kolme muotoa ovat keskenään samalla suuruusasteikolla, sillä maassa riittää hyvin lämpöä talven ajaksi ja kesällä aurinko lämmittää pintamaata, joka varaa itseensä energiaa talvea varten.

5.2 Kustannusvertailu

Laskuesimerkkitapauksena on kuvitteellinen 150m²:n omakotitalo Etelä-Suomessa jonka lämmittämiseen kuluu lämmitysenergia 15 000 kWh vuodessa. Esimerkkitapauksessa lasketaan investointikustannusten suuruutta eri järjestelmille.

Energiapaalun osalta tarvittavat paalut ovat 15 m pituisia, ja niitä on 20 kpl. Näillä saadaan kerättyä lämmitysenergiaa tarvittava määrä. Paaluista saadaan laskennallisesti kerättyä lämmitysenergiaa 15 000 kWh vuodessa. Vaakakeruuputkiston teholliseksi pituudeksi tulee taulukon 3 mukaan 300 metriä. Lämpökaivon syvyydeksi taulukon 4 mukaan tulee 140 metriä. Järjestelmäkoot muodostuvat taulukoiden 2-4 mukaan.

Energiapaalun kustannukset koostuvat paalutuksesta materiaaleineen, lämmönkeruuputkistosta osineen, sekä asennuksesta. Vaakakeruuputkiston kustannukset koostuvat puolestaan keruuputkistosta, kaivuutyöstä työtunneista, sekä muista asennustarvikkeista. Lämpökaivon kustannukset koostuvat kaivonporauksesta (sisältää kaivon varusteineen), eristetystä siirtoputkistosta, asennustarvikkeista ja työtunneista. Asennustarvikkeiden hintana on käytetty jokaisessa laskelmassa samaa arvoa, sillä lämpöpumpun kytkentään tarvitaan jokaisessa järjestelmässä samat osat ja sama työmäärä. Tällöin hintaeroiksi muodostuu itse järjestelmään tarvittavien materiaalien ja töiden hintaerot.

Seuraavaissa taulukoissa on esitettyä kustannuslaskelmat 15 000 kWh/a energiamäärän järjestelmille. Ensimmäinenä (TAULUKKO 5) energiapaalun kustannukset.

ENERGIAPAAALUN KUSTANNUKSET					
MATERIAALIT	METRIT	KPL	€/METRI	€/KPL	YHT. €
EVALPEX	800		5,6		4480
KOKOOJAPUTKET	100		26		2600
JAKOTUKKI		5		500	2500
HITSAUSMUHVI		20		30	600
ASENNUSTARVIKKEET		200		5	1000
TYÖTUNNIT		40		65	2600
YHT.					13780

TAULUKKO 5. Energiapaalun arvioidut kustannukset.

Energiapaalun kustannuksissa ei ole huomioitu paalujen eikä paalutuksen hintaa, sillä ideana on että hyödynnetään rakenteita, jolloin voidaan säästää investointikustannuksissa. Verrattuna energiapaalun kustannuksiin, seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 6) on esitettyä lämpökaivon kustannukset.

MAALÄMPÖKAIVON KUSTANNUKSET					
MATERIAALIT	METRIT	KPL	€/METRI	€/KPL	YHT. €
KAIVONPORAUS (sis.Putkisto+nesteet+suojaputket)	140		35		4900
SIIRTOPUTKET (erist.)	40		26		1040
TYÖTUNNIT		8		65	520
KAIVINKONE		8		60	480
ASENNUSTARVIKKEET		50		10	500
YHT.					7440

TAULUKKO 6. Lämpökaivon arvioidut kustannukset.

Seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 7) on esitettyä vaakakeruupiirin kustannuslaskelmat.

VAAKAKERUUPUTKISTON KUSTANNUKSET					
MATERIAALIT	METRIT	KPL	€/METRI	€/KPL	YHT. €
KERUUPUTKET	500		2		1000
TYÖTUNNIT		8		65	520
KAIVUUTYÖ	500		6		3000
ASENNUSTARVIKKEET		50		10	500
YHT.					5020

TAULUKKO 7. Vaakakeruupiirin arvioidut kustannukset.

Vaakakeruuputkiston tehollinen pituus on taulukon 3 mukaan 300 metriä, mutta laskelmissa on huomioitu siirto-osuutta keruukentästä talon sisälle, josta tulee pituudeksi 500 metriä. Hinnat ovat Uponorin tehtaanhinnastosta osien ja putkien osalta, muut hinnat ovat alueellisia arvioita. Todellisuudessa kohteet ovat yksilöitä ja hinnat ovat tarjousluonteisia yksilöllisiin kohteisiin.

5.3 Kustannusten tarkastelu

Kuten laskelmista huomataan, on vaakakeruuputkisto investointikustannuksiltaan halvin, lämpökaivo hieman kalliimpi ja energiapaalut ovat selvästi omassa hintaluokassa. Lopullisen sekä oikean hinnan järjestelmälle saa vain tarjouksen perusteella. Kuitenkin laskelmien mukaan vaakakeruuputkisto on kannattavin investointi. Tämä vain vaatii rakennuksen tontilta tilaa ja muutenkin maaperä tulisi olla hyvin lämpöä johtavaa. Lämpökaivon hankinnassa tulee eteen mahdollinen porauskielto tontilla, muuten se on hyvä ja kannattava ratkaisu. Energiapaalut ovat erittäin kilpailukykyinen vaihtoehto energiansaannin kannalta katsottuna, jos verrataan kahteen muuhun järjestelmään.

6 ENERGIPAALUN MAHDOLLISET HAITAT

Mahdollisia haittoja, joita energiapaaluista voisi koitua, on esimerkiksi erilaiset vuodot putkistossa. Vuodon havaitseminen ei sinänsä ole vaikeaa, mutta vuodon korjaaminen saattaa olla mahdotonta, sillä liitokset ovat lattian alla hiekassa, tai betonivalun sisällä paalussa. Vuodoista ei välttämättä koidu haittaa rakenteille, sillä lämmönkeruuneste ei sinänsä ole vaarallista, eikä putkisto kulje lattiarakenteiden sisällä, vaan niiden alla, jolloin neste pääsee imeytymään maaperään. Luultavammin vuoto tullaan havaitsemaan ajoissa, jolloin keruunestettä ei ehdi valumaan rakenteisiin paljoakaan. Vuodon suurempi haitta on järjestelmän toimimattomuus, sillä yhtä paalua ei voida sulkea pois järjestelmästä ilman suurempia rakenteellisia korjaustöitä. Muita haittoja voisi olla maan routiminen paalujen ympäriltä, kun maaperästä kerätään lämpöä talteen. Syvemmällä maassa routaa tuskin kertyy paalun ympärille, mutta ylempänä maan pinnan läheisyydessä tämä voi olla mahdollista. Routa saattaa vahingoittaa paalun rakennetta pahimmassa tapauksessa. Kun tutkimustietoa ei vielä ole, ei tiedetä kuinka syvälle routa voi talvella painua. Routa heikentää maaperän lämmönsiirtokykyä, joka vaikuttaa suoraan järjestelmän tehoon. Pahimmassa tapauksessa routa voisi yltää paalun alapäähän asti, tai jos paalut ovat liian tiheään asennettu, maa voi jäätyä kokonaan paalujen väleistä. Myös erilaiset lämpölaajenemiset voivat väsyttää paalun rakenneosia, ja näin ollen aiheuttaa murtumia betoniin tai teräsputkeen.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia energiapaalun kannattavuutta ja toimivuutta pientaloissa. Yhden projektin tarkastelun perusteella huomataan, että se ei kuitenkaan vielä sellaiseenaan ole valmis kilpailemaan lämpökaivon tai vaakakeruuputkiston kanssa. Järjestelmässä on myös tällä hetkellä liikaa haavoittuvia kohtia, kuten paljon liitoksia, jotka ovat aina riskitekijä vuotojen kannalta. Ja kuten kappaleessa 2.1 kerrotaan, putkiston huolto on mahdotonta, sillä kaikki liitokset ovat rakenteiden sisällä tavoittamattomissa. Erityistä huomiota tulee kiinnittää asentaessa liitoksiin ja niiden tiiveyteen. Paineekoe tulee tehdä todella huolellisesti, ja hyvissä ajoin ennen rakenteiden tukkimista että on aikaa varmistua järjestelmän pitävyydestä.

Tuloksia tarkastellessa huomattiin että energiapaalu voisi olla tulevaisuudessa varteentotettava vaihtoehto energian keräämiseen. Energian saannin kannalta se voisi toimia yhtä hyvin kuin vaakakeruuputkisto, mutta investointikustannuksissa on vielä parannettavaa. Nykyään rakennettavat asuinalueet ovat hyvinkin lähellä toisiaan, jolloin ei ole tilaa vaakakeruuputkiston tekemiseen, ja lämpökaivojen poraus voi olla kielletty, jolloin energiapaalun mahdollisuus tulee esiin. Tuotteet eivät ole vielä energiapaaluun valmistettuja, vaan on kasattu eri järjestelmistä sopiva paketti joka voidaan asentaa paalujen yhteyteen. Tämän vuoksi osat ovat kalliita ja niitä muokkaamalla paaluihin sopivaksi niiden kappalemäärä pienentyy, ja järjestelmän hinta halpenee. Uskoisin, että tulevaisuudessa energiapaalut yleistyvät ja ottavat oman paikkansa niin pientaloissa, kuin suuremmissakin rakennuksissa.

Järjestelmät tulisi mitoittaa juuri oikeanlaiseen energiantarpeeseen, jotta päästään kustannustehokkaaseen ratkaisuun. On mietittävä kannattaako käyttövesi lämmittää maasta saatavalla energialla, vai onko viisaampaa hyödyntää jotain muuta energiamuotoa siihen. Nykyään omakotitalon lämmitysverkostot ovat monesti matalalämpöverkostoja, jolloin lämmitysvettä ei tarvitse lämmittää käyttöveden vaatimaan 58 °C:een, vaan noin 40 °C riittää hyvin lämmönjakotavasta riippuen. Myös jos on mahdollista lämmittää varaavalla tulisijalla, ei kannat mitoittaa lämmitysjärjestelmää huippupakkasten tehoille, vaan jättää se suosiolla osatehoiseksi ja hoitaa loppu lämmitysenergia puulla. Molemmissa edeltävissä tapauksissa riittää lämpöpumpuksi teholtaan pienempi laite, joka on halvempi käyttää ja edullisempi investoida kuin suurempi lämpöpumppu.

LÄHTEET

Kemppainen, J. Lämpökaivojen käyttö rakennusten lämmityksessä. Insinööritö 2012
http://theseus17kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/51580/Kemppainen_Joni.pdf?sequence=1

Ketonen, J. Maalämpö lämpöenergiantuottajana. Opinnäytö 2012
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39791/JoonasKetonenKORJATTU.pdf?sequence=1>

KUOSMANEN, A ja Määttänen, M. Omakotitalon energiankulutuksen laskenta vuoden 2012 rakentamismääräysten mukaisesti ja sen testaus pienoismallin avulla. Opinnäytö 2012
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43311/Kuosmanen_Antti_ja_Maattanen_Mikko.pdf?sequence=1

Maalämpöputken hinta
<http://www.taloteknikko.fi/product/550/maalampoputki-pem-40-x-24-300m>

Näkki, A. Rivitalorakentamisen kustannusvertailu. Opinnäytö 2013
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55017/Nakki_Anssi.pdf?sequence=1

Pitkäranta, J. Maalämmön kehittäminen kaivamattomalla tekniikalla.

Opinnäytö 2009
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2279/Pitkaranta_Juha.pdf?sequence=1

Ruukki energiapaaluesite 2011
Esite - eRR- ja eRD-energiapaalut (pdf, 0.82MB)

Ruukin energiapaalut
<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infrastruktuuriratkaisut/Teraspaalut/eRR--ja-eRD--energiapaalut>

Seppänen, O. Rakennusten lämmitys. Oppikirja 2001

Uponor tehtaanhinnasto 2013